

博士論文審査結果報告書

論 文 題 目

ユビキタスコンピューティング環境
実現に向けた分散ソフトウェア
コンポーネント管理に関する研究

申 請 者
武本 充治

情報生産システム工学専攻
知能化ネットワーク研究

2009 年 2 月

本論文では、ユビキタスコンピューティングシステムにおいて、サービスを構成する分散ソフトウェアコンポーネントを組み合わせるコンポーネント合成管理技術と、実サービスとして提供する場合に必要な、高信頼化と動的更新を実現するための分散ソフトウェアコンポーネントの運用管理技術を述べている。具体的には、(課題 1) 利用者からの要求に対して、利用者が全てを示唆しなくても利用者を取り巻く状況に適応して、ネットワーク側が動的に必要なソフトウェアコンポーネントを選択・決定、そして組み合わせ、利用者が望むサービスを提供するためのサービス合成技術、(課題 2) ソフトウェアコンポーネントが動作可能なプラットフォーム構成技術、特に、障害が発生した場合に対応できる、分散オブジェクトの複製による高信頼化技術、(課題 3) サービス提供中に分散オブジェクトを実現しているプログラムコードを更新するオブジェクトの動的更新技術を明らかにしている。

本論文では、上記の技術と共に、実装を通じての評価によるその有効性が示されている。また、提案技術を試作した中核ソフトウェアと、それを利用して実現されたアプリケーションソフトウェアを実行、評価することにより、提案技術によるサービスの実現性を明らかにしている。今後のユビキタスコンピューティング環境において、分散されたソフトウェアコンポーネントから実際に利用可能なコンポーネントを選択・決定し、利用者が望むサービスを推定し、提供するために、提案技術が有用であることから、ユビキタスコンピューティング環境における中核技術としての利用が期待できることを述べている。以下、各章ごとにその概要を示し、評価を与える。

第 1 章「序論」では、研究の背景として、ユビキタスコンピューティング時代がある程度実現されてきているが、利用者が自ら置かれた環境を意識し、どのようにすれば意図するサービスを受けられるかを利用者の判断に委ねざるを得ず、ネットワーク環境を利用者が十分に利用しているとはいいがたい現状について述べている。また、ユビキタスコンピューティングシステムは超分散コンピューティング環境で実現され、各コンピュータ上では様々な粒度のソフトウェアコンポーネントが存在し、それらソフトウェアコンポーネントが相互に通信を行うことで、利用者の所望するサービスが実現されている。第 1 章では、このような分散ソフトウェアコンポーネントを管理し、利用者にサービスを提供するために必要となる前述の 3 つの課題を抽出し、各課題へのアプローチを示している。

第 2 章「ユビキタスコンピューティング環境に適したサービス提供アーキテクチャにおけるサービス合成方式とその実装」では、第 1 章で挙げた(課題 1)に対し、ユビキタスコンピューティング環境において、利用者を取り巻く状況に適応して、ソフトウェアコンポーネントを組み合わせ、サービスを実現する、ユビキタスコンピューティング環境向けのサービス合成技術を提案している。その提案技術を実装し評価するために、サービス提供アーキテクチャ (USON: Ubiquitous Service-Oriented Network) の必要条件とその実現方法を明らかにしている。USON においては、利用者が所望するサービスは、サービステンプレートと呼ばれるサー

ビスの雛形で抽象的に記述され、利用者に提供される具体的なサービスを実現するソフトウェアコンポーネントが、サービスエレメントとして、サービス提供時の状況に対応して動的に決定されることにより、具体的なサービスが実現される。ネットワーク上に分散管理されたサービスエレメントとサービステンプレートを探索・発見し、利用者などの状況をセンサなどで検出した情報に応じて決定することができること、そしてサービスエレメントとサービステンプレートには、共通に定義された意味情報が付与されていることに特徴がある。この提案コンセプトに基づいて、USONの中核であるサービス合成エンジンのソフトウェア構造を明らかにし、サービス合成エンジンを実装している。さらに、サービス合成エンジンにより実現されるサンプルアプリケーションを提案し、実際の商店街で一般の方を被験者とした実証実験を行うことにより、提案コンセプトが実サービスの実現に適用可能であることを明らかにしている。その実証実験から、サービスコンポーネントが時間軸に厳しいストーリーミング情報を取り扱えるようにすべきこと、利用者などの状況に適したサービスエレメントやサービステンプレートを探索・発見し、決定する機能の充実と、サービスエレメント間の処理競合をもたらすサービス間競合の検出と、その解決が必要であるという課題を明確にし、実サービスを実現する際の課題を明らかにしている点が評価できる。

第3章「ネットワークワイド分散オブジェクト指向システムにおけるフォールトトレラント機構の実装と評価」では(課題2)に対し、超分散コンピューティング環境で、ソフトウェアコンポーネントを実現している分散オブジェクトに注目した高信頼化技術(FTARO: Fault-Tolerant Architecture based on Replicated Objects)について提案している。分散オブジェクトの高信頼化技術であるFTAROの必要条件とその実現方法について明らかにしている。FTAROの適用先として想定している、無中断性が必要とされる通信システムは、複雑な分散オブジェクトから構成されており、システムの一部である分散オブジェクトが障害に陥った場合、該当する分散オブジェクトのみを再起動する必要がある。具体的には、分散オブジェクトを動作させるメッセージを超分散コンピューティングの実行環境内で複製し、待機オブジェクトにも送信することと、そのメッセージにより駆動されるメソッドの終了時に待機分散オブジェクトに内部状態を通知する機能を持つ方式を提案している。FTAROにおいては、内部状態の一貫性を保持するためのメッセージと、障害検出のためのメッセージを共通化することで、高信頼化に関するコストについて、従来システムと比較しその削減効果を示している。また、実装評価により多様な応用形態への展開を考慮した分散オブジェクトの様々な粒度による検証が必要であるという課題を明確にし、提案手法の実行時のコストの低位性を明らかにすると共に、国際標準化団体であるOMG(Object Management Group)に本手法を提案し、採択されていることが評価できる。

第4章「通信システムのソフトウェアに適したオブジェクトのLazy更新技術」では(課題3)に対し、サービス提供中に、そのサービスを構成している分散オブジェクトのプログラムコードを更新するためのオブジェクトの動的更新技術を提

案している．分散オブジェクトから構成されるシステムにおいて，一部の分散オブジェクトを動的に更新する方法の必要条件とその実現方法について明らかにしている．具体的には，通信システムをはじめとする分散オブジェクトで実現されているシステムにおいて，同じクラスから生成される分散されたオブジェクトが複数存在するが，これらのクラスのプログラムコードの更新を行う場合に，生成されている分散オブジェクトを全て同時に更新することなく，実際に利用されるタイミングでプログラムコードの更新を反映させる Lazy Update を提案している．プログラムコードの更新の要求が出ていることを，オブジェクトのリファレンスを無効化することで対応し，また，各オブジェクトの内部状態の管理に，オブジェクトの生成・削除などをつかさどるファクトリで対応することを述べている．その実装評価により，運用中の通信システムで動作しているオブジェクトを利用者へのサービス提供に影響を与えることなく、変更可能であることを示すとともに、本手法を OMG へ提案し採用されていることが評価できる．

最後の第 6 章「総括」では，以上の研究で示した，ユビキタスコンピューティング環境実現に向けた分散ソフトウェアコンポーネント管理に関する技術を総括している．ソフトウェア的側面から，ユビキタスコンピューティング環境を利用者に，よりよく利用してもらうためのソフトウェアコンポーネントの管理方法について述べている．つまり，サービス合成技術，高信頼化技術，動的ソフトウェア更新技術について，それぞれの中核技術のソフトウェア実装とそれを利用したアプリケーション・サービスを実現することによる評価を行い，提案技術のユビキタスコンピューティング環境における適用性を検討した結果についてそれぞれ総括している．さらに，これらの提案技術の評価に基づき全体的なシステムとして，本研究による到達点および今後の技術的な展望について述べている．

以上を要するに，本論文は，今後想定されるユビキタスコンピューティング環境において，サービスを実現する分散ソフトウェアコンポーネントの合成技術と，高信頼化技術・ソフトウェアの動的更新技術という，分散ソフトウェアコンポーネントの管理技術について明らかにし，実装に基づいた提案技術の評価を通じて，実現性を検証したものであり，今後の電気通信分野に寄与するところ大である．よって，本論文は博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める．

2009 年 1 月 23 日

主査	早稲田大学	教授	博士(工学)(大阪大学)	小柳	恵一
	早稲田大学	教授	工学博士(早稲田大学)	石野	福弥
	早稲田大学	教授	工学博士(名古屋大学)	馬場	孝明